Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 37, No. 1, Spring 2023, p. 205-217

Investigation of *Tomato Spotted Wilt Virus* and Fe Interaction on some Physiological Characteristics of Tomato in Greenhouse Conditions

N. Haresabadi[1], S.A. Hosseini[2*], M.H. Aminifard[3]

Received: 07-02-2022
Revised: 26-03-2022
Accepted: 11-05-2022
Available Online: 11-05-2022

How to cite this article:
Haresabadi, N., Hosseini, S.A., & Aminifard, M.H. (2023). Investigation of *Tomato spotted wilt virus* and Fe interaction on some physiological characteristics of tomato in greenhouse conditions. *Journal of Horticultural Science 37*(1): 205-217. (In Persian with English abstract). http://doi.org/10.22067/jhs.2022.75082.1134

Introduction

Tomato, scientifically known as *Solanum lycopersicum* L., belongs to the Solanaceae family and is susceptible to various diseases, resulting in reduced yield. Among the diseases, the *Tomato spotted wilt virus* (TSWV), which belongs to the Tospovirus genus and Bunyaviridae family, causes significant damage to tomato crops and other greenhouse plants. Therefore, it is crucial to find ways to increase plant resistance and control viral infections. One effective method is through proper plant nutrition, which can enhance plant resistance by balancing fertilizer consumption and nutrient supply. Iron (Fe) is an essential element for plants and plays a significant role in increasing their tolerance to various stresses. In Order to evaluate the interaction effects of *Tomato spotted wilt virus* and Fe on some biochemical traits of Mobil and RioGrand tomato cultivars, a study was conducted in Birjand Faculty of Agriculture.

Materials and Methods

Experiment in a Random complete design with greenhouse conditions, with 3 replications and 4 treatments Done. Experimental factors include cultivar with two levels (Mobil cultivar and Rio Grand cultivar) and Fe foliar application in the presence of virus with these three (zero, 1.5 and three milliliter of Fe fertilizer per liter of water). First, two varieties of RioGrand and Mobil tomato seeds were prepared and planted in seedlings. Then, in the two-leaf stage, they were transferred to pots filled with sterile soil and kept in greenhouse conditions. After seedling establishment, the first foliar application of Fe fertilizer was done and in the five to seven leaf stage, the virus was inoculated on all leaves. Then, the second stage of fertilizer was applied 10 days after the first fertilizer and finally, after the last stage of foliar application, the samples were transferred to the laboratory. In Order to accurately investigate the effect of Fe on important plant factors, extracts were taken from the samples. Then, the amount of antioxidants, carbohydrates, Flavonoids, Chlorophyll (a, b and total chlorophyll) and phenol was measured. Finally, the final data analysis was performed using SAS statistical software.

Results

The results showed that the simple effect of cultivar on the amount of phenol and flavonoids was significant at the level of one percent and the highest amount of phenol was recorded in Mobil cultivar and the highest amount of flavonoids was recorded in RioGrand cultivar. The effect of treatments on chlorophyll a, total chlorophyll index and antioxidant enzymes was significant at the level of 1% probability and carbohydrate content at the level of 5% probability. The results showed that feeding Fe at a concentration of 1.5 milliliter had a favorable effect on carbohydrate content and increased its amount in infected plants compared to control plants. This Increase effect may be useful for improving tolerance in a variety of tomatoes. According to the results, an increase in foliar application concentration to 3 milliliters led to a decrease in carbohydrate levels. Mechanical inoculation with a positive sample of the virus resulted in plant contamination. However, virus

1, 2 and 3- Master of Plant Pathology and Associate Professors Department of Plant Protection and Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Birjand, respectively.
(*- Coresponding Author Email: ahosseini@birjand.ac.ir)
DOI: 10.22067/jhs.2022.75082.1134

infection increased carbohydrate and antioxidant enzyme levels in tomatoes. The effect of cultivar on treatment was only significant in the amount of antioxidant enzymes at a one percent probability level, with the Mobil cultivar showing the highest response to virus infection treatment. Therefore, it can be concluded that a concentration of 1.5 milliliters of Fe fertilizer could be effective in increasing carbohydrate levels, as well as utilizing enzymatic and non-enzymatic antioxidant components to prevent viral penetration to some extent and reduce symptoms, particularly in the Mobile cultivar. However, the RioGrand cultivar produced less antioxidant components. Different cultivars of the same plant species have been reported to have varying responses to different types of infections, such as viruses, fungi, and bacteria. These differences are attributed to genetic variations among cultivars, which leads to different resistance mechanisms.

Conclusion

The final results showed that in the early stages of greenhouse tomato growth, Fe nutrition had an effect on the biochemical properties of the plant and had a positive effect on some traits. In total, Fe fertilizer with a concentration of 1.5 milliliter increased carbohydrates in plants infected with *Tomato spotted wilt virus* and together with phenol and antioxidants affected the spread of the virus, especially in Mobil cultivar.

Keywords: Biochemical traits, Bunyaviridae, Mechanical inoculation, Nutrients, Tospovirus

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۷، شماره ۱، بهار ۱٤۰۲، ص. ۲۱۷-۲۰۵

بررسی برهم کنش ویروس پژمردگی لکه‌ای گوجه‌فرنگی (*Tomato spotted wilt virus*) و آهن روی برخی خصوصیات فیزیولوژیکی گوجه‌فرنگی در شرایط گلخانه

نیلوفر حارث آبادی[۱]- سیده عاطفه حسینی[۲*]- محمدحسین امینی فرد[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۸
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۱/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۲۱

چکیده

ویروس پژمردگی لکه‌ای گوجه‌فرنگی (*Tomato spotted wilt virus*) متعلق به جنس توسپوویروس (Tospovirus) و خانواده بنیاویریده (Bunyaviridae) می‌باشد. این ویروس خسارت زیادی به کشت‌های گوجه‌فرنگی و انواع گیاهان در گلخانه‌های کشور وارد نموده است. همواره به جهت افزایش مقاومت گیاهان و کنترل آلودگی‌های ویروسی از تغذیه کودی گیاهان استفاده می‌شود. یکی از عناصر مورد نیاز گیاه عنصر آهن می‌باشد که در روند تحمل گیاه به انواع تنش‌ها اثر زیادی دارد. بنابراین، به منظور بررسی اثرات متقابل ویروس پژمردگی لکه‌ای گوجه‌فرنگی و عنصر آهن بر برخی خصوصیات بیوشیمیایی دو رقم گوجه‌فرنگی ، تحقیقی در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و چهار تیمار در دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل رقم با دو سطح (رقم 'موبیل' و رقم 'ریوگراند') و محلول‌پاشی آهن در حضور آلودگی ویروسی با سه غلظت (صفر، ۱/۵ و ۳ میلی‌لیتر کود آهن مایع در یک لیتر آب) اعمال شد. صفات بیوشیمیایی مورد بررسی در این آزمایش شامل قندکل، فنل، فلاونوئید، آنتی‌اکسیدان و کلروفیل (a، b و کلروفیل کل) بودند. نتایج این تحقیق نشان داد کاربرد برگی کود آهن در غلظت ۱/۵میلی‌لیتر منجر به افزایش محتوی قند کل در گیاهان آلوده شد. همچنین نتایج مقایسه میانگین‌ها حاکی از آن است که بیشترین میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاهان آلوده به ویروس با ۷۳/۳۴ درصد مشاهده شد. در بین ارقام از نظر میزان فنل و فلاونوئید تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت به نحوی که بیشترین میزان فنل در رقم 'موبیل' با ۰/۶۸میلی‌گرم در صد گرم و بیشترین میزان فلاونوئید در رقم 'ریوگراند' با ۰/۵۱ میلی‌گرم در گرم وزن تازه مشاهده شد. در مجموع کود آهن با غلظت ۱/۵ میلی‌لیتر باعث بهبود قندکل در گیاهان آلوده به ویروس پژمردگی لکه‌ای گوجه‌فرنگی شد و همراه با فنل و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان بر کاهش گسترش ویروس به ویژه در رقم 'موبیل' تاثیر مثبتی گذاشت و منجر به کاهش شدت علائم شد.

واژه‌های کلیدی: بنیاویریده، تلقیح مکانیکی، توسپوویروس، صفات بیوشیمیایی، مواد مغذی

مقدمه

گوجه‌فرنگی با نام علمی (*Solanum lycopersicum* L.) ازجمله سبزی‌های پرمصرف متعلق به تیره سیب‌زمینیان (Solanaceae) می‌باشد (Afroz *et al*., 2010). گوجه‌فرنگی گیاهی است چند ساله با برگ‌های مرکب و میوه سته گوشتی که واریته‌های زیادی از آن به جهت مصرف افراد کشت می‌شود (Wei *et al*., 2017). این گیاه از نظر اقتصادی بین محصولات باغبانی جایگاه دوم را به خود اختصاص داده است (Flores *et al*., 2010). فرایند کشت گوجه‌فرنگی در حضور بیمارگرهای گیاهی با محدودیت‌های زیادی همراه است. در این میان ویروس‌ها از مهمترین عوامل بیماری‌زای گیاهی محسوب می‌شوند. ویروس پژمردگی لکه‌ای گوجه‌فرنگی (TSWV) گونه تیپ

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد بیماری‌شناسی گیاهی و دانشیاران گروه گیاه‌پزشکی و باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند
(*- نویسنده مسئول: Email: ahosseini@birjand.ac.ir)
DOI: 10.22067/jhs.2022.75082.1134

جنس توسپوویروس (Tospovirus) است و با دامنه میزبانی وسیعی که دارد باعث بروز خسارت‌های زیادی در گوجه‌فرنگی می‌شود. این ویروس جزء ۱۰ ویروس با بیشترین میزان خسارت‌زایی در گیاهان می‌باشد. همچنین گزارش‌هایی مبنی بر خسارت TSWV روی سایر گیاهان مانند سیب‌زمینی، کوکب کوهی، سویا و گیاهان زینتی وجود دارد (Golnaraghi *et al*., 2007 ;Ghotbi *et al*., 2005). نخستین ردیابی این ویروس در استرالیا به وسیله بریتل بلنک صورت گرفته است (Shoshtari *et al*., 2011). ژنوم ویروس از سه قسمت با اندازه‌های متفاوت تشکیل شده است که درون یک پیکره گرد، از نوع RNA تک رشته قرار می‌گیرد. فرایند انتقال ویروس با روش مکانیکی و یا ناقلین صورت می‌گیرد. تریپس‌ها با روش گردشی تکثیری مهم‌ترین حشره انتقال دهنده ویروس می‌باشند (Pappu *et al*., 2009). در اثر رقابت ویروس و گیاه بیماری ایجاد می‌شود. علائم بیماری بسته به سن گیاه، دما و شرایط محیطی متفاوت است. در مجموع ویروس روی گیاهان نشانه‌های نکروز، کلروز و لکه‌های حلقوی ایجاد می‌کند (Chen *et al*., 2011). شدت علائم در گوجه‌فرنگی بسیار گسترده می‌باشد به نحوی که منجر به پیچیدگی برگ، لکه‌های قهوه‌ای مایل به سیاه، کوتولگی گیاه بالغ و ایجاد نقاط گرد رنگ پریده روی میوه می‌شود (Lian *et al*., 2013). از طرفی ساز و کارهایی در بیمارگرهای گیاهی وجود دارد که منجر به دریافت عنصر آهن از محیط اطراف می‌شود (Tariqi *et al*., 2019). این در حالی است که با مصرف متعادل کود و تامین عناصرغذایی می‌توان میزان مقاومت گیاه را افزایش داد و عنصر آهن نیز در روند تحمل گیاه به انواع تنش‌ها اثر زیادی دارد. به طور کلی وضعیت آهن گیاه می‌تواند روابط بیمارگر- میزبان را در مسیرهای مختلف بیماری‌زایی بیمارگر و همچنین دفاع میزبان تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین، هدف از این تحقیق بررسی برهمکنش ویروس پژمردگی لکه‌ای گوجه‌فرنگی و عنصر آهن بر برخی خصوصیات بیوشیمیایی گوجه‌فرنگی در شرایط گلخانه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و چهار تیمار به مدت سه ماه در دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل رقم با دو سطح (رقم 'موبیل' و رقم 'ریوگراند') و اعمال سطوح مختلف آهن در حضور آلودگی ویروسی با سه سطح (غلظت‌های صفر، ۱/۵ و ۳ میلی‌لیتر کود آهن مایع در یک لیتر آب) اعمال شد. جهت تغذیه نشاها، از کود آهن مایع فروسیت سمیران استفاده شد. ابتدا دو رقم بذر گوجه‌فرنگی تهیه و در سینی نشا کاشته شد. سپس، نشاها در مرحله دو برگی به گلدان‌هایی با قطر دهانه ۱۵ سانتی‌متر پر شده با خاک استریل (مخلوطی از خاک، ماسه و خاک برگ) منتقل و در شرایط گلخانه نگهداری شدند. دور آبیاری هر سه روز یک بار و به صورت دستی انجام شد. پس از استقرار گیاه اولین مرحله محلول‌پاشی به صورت اسپری کردن کود آهن مایع انجام شد. به منظور تلقیح ویروس، ابتدا در آزمایشگاه نمونه مثبت ویروس با دو میلی‌لیتر بافر فسفات ۰/۰۱مولار (pH هفت) درون هاون چینی استریل کاملاً کوبیده شد و بعد از له شدن روی سطح برگ‌ها مایه‌زنی صورت گرفت (Hall, 2009). سپس، ۱۰ روز بعد از اولین محلول‌پاشی مرحله دوم کوددهی انجام شد. بعد از آخرین محلول‌پاشی برگی نمونه‌ها برای انجام آزمایش‌های نهایی به آزمایشگاه منتقل شدند. در نهایت با استفاده از نرم‌افزار SAS آنالیز نهایی داده‌ها صورت گرفت.

اندازه‌گیری قند کل

به منظور سنجش میزان قند ابتدا معرف آنترون آماده شد. برای تهیه ۱۰۰ میلی‌لیتر معرف آنترون، ۷۶ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک ۹۸ درصد با ۳۰ میلی‌لیتر آب رقیق گردید. بعد از سرد شدن محلول، ۱۵۰میلی‌گرم آنترون در آن حل و در ظرف کهربایی نگهداری شد. سپس، جهت اندازه‌گیری محتوی قند ابتدا یک گرم از بافت تازه برگی به همراه ۱۰میلی‌لیتر متانول ۹۶ درصد در داخل هاون چینی کوبیده و له شد. در مرحله بعد در دستگاه سانتریفیوژ به مدت ۱۰ دقیقه با دور۴۰۰۰ قرار گرفت. سپس، ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره تهیه شده را برداشته و به آن ۳ میلی‌لیتر معرف آنترون اضافه گردید. نمونه به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار گرفته و پس از خنک شدن جذب آنها در طول موج ۶۲۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد (Mocready *et al*., 1950).

اندازه‌گیری فنل

اندازه‌گیری فنل با استفاده از روش زیر انجام شد. ابتدا یک گرم از بافت تازه برگ با ۱۰میلی‌لیتر متانول ۹۶ درصد در هاون چینی کوبیده شد. بعد از سانتریفیوژ با دور۴۰۰۰ به مدت ۱۰ دقیقه، ۰/۱ میلی‌لیتر از محلول فوق به ۰/۴ میلی‌لیتر فولین۵۰ درصد اضافه شد. سپس بعد از سه دقیقه، یک میلی‌لیتر کربنات سدیم دو درصد به آن اضافه شد و به مدت ۴۵ دقیقه در محفظه تاریک قرار گرفت. در نهایت میزان جذب نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۶۰ نانومتر یادداشت شد (Krizek *et al*., 1997).

اندازه‌گیری فلاونوئید

برای محاسبه میزان فلانوئید ابتدا ۰/۱گرم برگ در هاون چینی با ۱۰میلی‌لیتر اتانول اسیدی (۹۹ میلی‌لیتر اتانول+ یک میلی‌لیتر استیک اسید) در دمای آزمایشگاه همگن گردید و پس از سانتریفیوژ عصاره با

دور ۸۰۰۰ به مدت ۱۰ دقیقه، در حمام آب گرم با دمای ۸۰ درجه سانتی گراد به مدت ۱۰ دقیقه قرار گرفت. درنهایت جذب نمونه‌ها در طول موج ۳۰۰ نانومتر قرائت گردید (Krizek *et al*., 1998).

اندازه‌گیری آنتی‌اکسیدان

به منظور اندازه‌گیری آنتی‌اکسیدان ابتدا یک گرم از بافت تازه برگ با ۱۰ میلی‌لیتر متانول ۹۶ درصد کوبیده شد. سپس، سانتریفیوژ محلول به مدت ۱۰ دقیقه با دور ۴۰۰۰ انجام شد. در مرحله بعد، به ۰/۱ میلی‌لیتر از محلول فوق چهار میلی‌لیترمحلول DPPH (۱۵ میلی‌گرم DPPH + ۲۵۰ میلی‌لیتر متانول) اضافه و به سرعت هم زده شد و به مدت ۳۰ دقیقه در محفظه تاریک قرار گرفت. در پایان میزان جذب نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۷ نانومتر قرائت شد (Turkmen *et al*., 2005).

اندازه‌گیری کلروفیل (a، b و کلروفیل کل)

جهت اندازه‌گیری رنگیزه‌های کلروفیل ۰/۱گرم از بافت تازه برگ در ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد ساییده، سپس حجم محلول با استون به ۱۰میلی‌لیتر رسانده شد. محلول بدست آمده ۱۰دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور سانتریفیوژ شد. سپس، شاخص کلروفیل a در طول موج ۶۶۳ نانومتر و میزان کلروفیل b در طیف جذبی ۶۴۴ نانومتر یادداشت شد (Lichtenthaler, 1987).

آنالیز آماری

این پژوهش در قالب طرح کامل تصادفی تحت شرایط گلخانه انجام شد. پس از اعمال تیمارهای آزمایشی و مشاهده علائم ویروسی، نمونه‌ها برای انجام آزمایش و ثبت داده‌ها به آزمایشگاه منتقل شدند. سپس، توسط نرم‌افزار آماری SAS آنالیز نهایی صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده رقم بر میزان فنل و فلاونوئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. اثر تیمارها بر شاخص کلروفیل a، کلروفیل کل و آنتی‌اکسیدان در سطح احتمال یک درصد و محتوی قند در سطح احتمال پنج درصد معنی‌داری نشان داد. بر اساس نتایج اثر رقم بر تیمار تنها در میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱)

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر فاکتورهای آزمایشی بر صفات شیمیایی برگ گوجه‌فرنگی

Table 1- ANOVA for the effect of experimental factors on the chemical properties of tomato leaf

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی Df	فنل Phenol	آنتی‌اکسیدان Antioxidant	فلاونوئید Flavonoid	کربوهیدرات Carbohydrate	کلرفیل کل Chlorophyll Total	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل a Chlorophyll a
رقم Cultivar	1	0.24**	71.50^{ns}	0.054^{**}	0.0003^{ns}	6.31^{ns}	1.17^{ns}	2.04^{ns}
تیمار Treatment	3	0.01ns	286.73^{**}	0.003^{ns}	0.016^{*}	11.99^{**}	1.14^{ns}	6.02^{**}
رقم× تیمار Cultivar× treatment	3	0.01ns	113.66^{**}	0.009^{ns}	0.008^{ns}	1.97^{ns}	2.30^{ns}	1.22^{ns}
خطا Error	32	0.006	17.63	0.006	0.005	2.20	2.37	0.63
ضریب تغییرات CV (%)	-	13.06	6.17	17.31	14.75	9.88	18.42	11.95

ns، ** و * به ترتیب عدم معنی دار، معنی دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

ns, ** and *: non-significant, significant at $p\leq0.01$ and $p\leq0.05$, respectively

قند کل

نتایج محلول‌پاشی برگی نشان داد تغذیه آهن در غلظت ۱/۵ میلی‌لیتر اثر مطلوب بر محتوی قند داشت (جدول ۲) و میزان قند را در گیاهان آلوده نسبت به گیاهان شاهد افزایش یافت. در بررسی اثر کود آهن بر صفات بیوشیمیایی و مورفولوژیکی نعناع فلفلی گزارش شد محلول‌پاشی آهن در شرایط تنش شوری منجر به افزایش محتوی کربوهیدرات شد (Rostami *et al*., 2018). به علاوه در گزارش‌هایی بیان شد تیمار محلول‌پاشی آهن، منگنز و روی در گیاه پیاز باعث افزایش میزان قند گردید (Singh and Riwari, 1996). همچنین نتایج این آزمایش بیانگر آن است که در شرایط تنش ویروسی با افزایش غلظت محلول‌پاشی از میزان قند کاسته شد. به نحوی که در تیمار کود آهن سه میلی‌لیتر، میزان قندکل با ۰/۴۴میلی‌گرم بر گرم به حداقل رسید (جدول ۲). یافته‌های محققان در گیاه شنبلیله موید این مطلب می‌باشد که با افزایش میزان کود محتوی قند کاهش می‌یابد (Shokhmgar *et al*., 2013). آنان گزارش کردند تیمار ۵۰کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن باعث افزایش میزان قند شد درحالی که با افزایش کود از محتوی قند کاسته شد. بررسی‌ها حاکی از آن است که در تنش رطوبتی و سطوح مختلف کلات آهن کاهش محتوی قند مشاهده شد (Fathi Amirkhiz *et al*., 2011).

به علاوه نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد در تیمار آلودگی ویروسی محتوی قند افزایش یافت (جدول ۲). در تحقیقی بیان شد طی تنش‌های آلودگی، شوری و سرما میزان کربوهیدرات افزایش می‌یابد (Van Assche and Clijsters, 1990). همچنین محققان گزارش کردند محافظت گیاه علیه عفونت‌ها و سم‌زدایی ترکیبات خارجی برعهده قندها می‌باشد (Smeekens, 2000). در آزمایش انجام شده توسط پژوهشگران بیان شد آلودگی سیب‌زمینی به ویروس y سیب‌زمینی (pvy) منجر به افزایش محتوی قند شد (Herbers *et al*., 2000). به علاوه نتایج بررسی روی گیاه چغندرقند نشان داد مایه‌زنی مکانیکی ویروس زردی نکروتیک رگبرگ چغندرقند *Beet (necrotic yellow vein) virus* منجر به آلودگی و افزایش محتوی کربوهیدرات در گیاه شد (Qorbani *et al*., 2017). نتایج مشابهی روی گوجه‌فرنگی گزارش شد. به نحوی که پژوهشگران بیان کردند محتوی کربوهیدرات تحت تاثیر تنش شوری در بالاترین سطح قرار گرفت (Askari *et al*., 2014 ;Mokhtary *et al*., 2010).

به علاوه نتایج نشان داد بین ارقام گوجه‌فرنگی در میزان قند کل اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین بررسی اثر رقم در تیمار بیانگر غیر معنی‌داری اثرات متقابل بر محتوی قند می‌باشد.

جدول ۲- اثر کاربرد برگی محلول آهن بر محتوی کربوهیدرات در برگ گوجه‌فرنگی های آلوده به ویروس

Table 2- The effect of Fe foliar application of on Carbohydrate tomato of virus infected plants

تیمارها **Treatments**	**کربوهیدرات** **Carbohydrate** **($mg.g^{-1}$)**
شاهد Control	0.47^{b}
آلودگی ویروسی Virus infected	0.53^{a}
آهن ۱/۵ Fe 1.5ml	0.52^{a}
آهن ۳ Fe 3ml	0.44^{b}

اعداد دارای حروف مشترک در هر ستون، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Numbers with common letter in each column do not differ significantly at the 5% of probability level.

فنل

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در بین ارقام از نظر میزان فنل تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت و در رقم 'موبیل' میزان فنل تولیدی بیشتر مشاهده شد (جدول ۳) که با نتایج تحقیقات روی ارقام توتون آلوده به ویروس وای سیب‌زمینی (PVY) مطابقت دارد (Abdullahi *et al*., 2015). این محققان بیان کردند میزان فنل در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشد و گزارش کردند بیشترین میزان فنل در رقم VAM مشاهده شد. در مطالعه‌ای دیگر تاثیر ویروس زردی نکروتیک رگبرگ چغندرقند (BNYVV) روی چغندرقند بررسی شد و نتایج نشان داد مایه‌زنی مکانیکی ویروس منجر به تغییر معنی‌دار محتوای فنل شد به طوری که بیشترین فنل در گیاهان مقاوم گزارش شد (Qorbani *et al*., 2017). با توجه به نتایج نهایی به نظر می‌رسد افزایش ترکیبات فنلی در رقم 'موبیل'

توانسته اثر مخرب عامل بیماری را کاهش و از شدت علائم ویروسی بکاهد. محققان بیان کردند چنانچه ترکیبات فنلی به موقع و سریع تولید شوند مانع از نفوذ بیمارگر به گیاه می‌شوند (Sundararaju and Suba, 2006). به طور کلی پژوهش‌ها نشان می‌دهد میزان ترکیبات فنلی وابسته به مرحله رشد گیاه، نوع اندام، نوع ژنوتیپ و شرایط آب و هوایی می‌باشد (Bystricka *et al*., Labuckas *et al*., 2008 ; 2010).

همچنین نتایج برهمکنش رقم و تیمار بر میزان فنل تاثیر معنی‌داری نشان نداد. به علاوه در تمام تیمارها میزان فنل در یک سطح قرار گرفت و اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

جدول ۳- محتوی فنل در دو رقم گوجه‌فرنگی

Table 3- The phenol content in two tomato cultivars

ارقام Cultivar	فنل Phenol (mg.hundred g^{-1})
ریوگراند RioGrand	0.52^{b}
موبیل Mobil	0.68^{a}

اعداد دارای حروف مشترک در هر ستون، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Numbers with common letter in each column do not differ significantly at the 5% probability level.

فلاونوئید

با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها اثر تیمارها بر میزان فلاونوئید معنی‌داری نشان نداد به نحوی که بین هیچ یک از تیمارها در میزان فلاونوئید تفاوتی مشاهده نشد. همچنین در اثرات متقابل اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. این در حالی است که بر اساس نتایج تجزیه واریانس مشخص شد تاثیر رقم بر میزان فلاونوئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار می‌باشد و رقم 'ریوگراند' بهتر شناخته شد (جدول ۴). نتایج مشابهی در این زمینه توسط محققان گزارش شد. آن‌ها بیان نمودند در شرایط تنش خشکی میزان فلاونوئید فندق تحت تاثیر ارقام قرار گرفت و در رقم گرد بالاترین مقدار به ثبت رسید (Shahi *et al*., 2020 Qaralar). به طور کلی فلاونوئیدها گروهی پیچیده از متابولیت‌های ثانویه می‌باشند و در مواجهه با عوامل بیماری‌زا به عنوان پیام‌رسان عمل می‌کنند و منجر به سازگاری گیاه در شرایط تنش می‌شوند. پژوهشگران گزارش کردند فلاونوئیدها دارای خواص ضد ویروس، ضد باکتری، ضد التهاب می‌باشند و در مرحله خاصی از رشد گیاه به وسیله برخی بافتها تولید می‌شوند (Jaakola *et al*., 2002 ;Cook and Samman,1996).

جدول ۴- محتوی فلاونوئید در دو رقم گوجه‌فرنگی

Table 4- Flavonoid content in two tomato cultivars leaf

ارقام Cultivar	فلاونوئید Flavonoid (mg.g^{-1} fresh weight)
ریوگراند RioGrand	0.51a
موبیل Mobil	0.44b

اعداد دارای حروف مشترک در هر ستون، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Numbers with common letter in each column do not differ significantly at the 5% probability level.

آنتی‌اکسیدان

آنتی‌اکسیدان‌ها سریع‌ترین واحدهای مقابله با تنش می‌باشند که وظیفه حفاظت از گیاه را با تولید آنزیم‌ها و یا اجزای غیرآنزیمی برعهده دارند. با توجه به نتایج به دست آمده از آزمایش، میزان آنتی‌اکسیدان تحت تاثیر تیمارها در سطح یک درصد معنی‌دار شد. بر اساس نتایج، تنش ویروسی به طور معنی‌داری درصد آنتی‌اکسیدان را افزایش داد و در بالاترین سطح قرار داد. افزایش درصد آنتی‌اکسیدان در تیمار آلودگی ویروسی این آزمایش در راستای نتایج سایر محققان می‌باشد (Zarinjoo *et al*., 2020). آنان افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاهان کلزا تیمار شده با ویروس (*cauliflower mosaic virus*) را گزارش کردند. همچنین در گزارشی بیان شد به هنگام آلودگی گیاهان با ویروس‌های بیماری‌زا، ساز و کارهای دفاعی در گیاه فعال می‌گردد و منجر به افزایش درصد آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان می‌شود (Ashfaq *et al*., 2010). پژوهش‌های دیگری

مبنی بر افزایش آنتی‌اکسیدان در شرایط تنش ویروسی وجود دارد. در بررسی‌های محققان گزارش شد میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاه فلفل در مراحل اولیه پس از آلودگی به ویروس موزاییک زرد فلفل (*Pepper yellow mosaic virus*) افزایش یافت (Goncalves *et al*., 2013). در این زمینه پژوهشگران اعلام کردند طی آلودگی گیاه پامچال به ویروس موزاییک نواری گندم (*Wheat streak mosaic virus*) افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاه مشاهده شد (Clarke *et al*., 2002). در تحقیق روی گیاه گوجه‌فرنگی نیز افزایش میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان طی تنش سرمایی (Haghighi and Abolghasemi, 2019) و همچنین اعمال تنش کم آبی گزارش شد (Barzegar *et al*., 2019).

به علاوه نتایج نشان داد در گیاهان آلوده به ویروس تیمارهای کودی آهن، اثر افزایشی بر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نداشت. در این راستا محققان اظهار داشتند مصرف نانوکلات آهن در شرایط تنش خشکی منجر به کاهش آنتی‌اکسیدان در برخی اکوتیپ‌های بابونه شد (Azad *et al*., 2018). به علاوه نتایج مقایسه فعالیت آنتی‌اکسیدانی، تفاوت معنی‌داری را بین دو رقم نشان نداد.

همچنین با درنظر گرفتن تعامل بین ارقام و تیمارهای اعمال شده مشخص شد رقم 'موبیل' بیشترین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را در هنگام آلوده شدن به ویروس پژمردگی لکه‌ای گوجه‌فرنگی داشت (جدول ۵). به نظر می‌رسد افزایش این آنزیم‌ها از نفوذ بیشتر عامل ویروسی تا حد زیادی جلوگیری نموده و در نهایت شدت علائم مشاهده شده روی گیاه را کاهش داده است. محققان بیان کردند با اعمال تنش، رقم‌های متحمل گیاهی با مکانیسم افزایش آنتی‌اکسیدان توان بیشتری در محافظت از خود دارند (Bandeoglu *et al*., 2004). در تحقیقی اثر ویروس موزائیک کوتولگی ذرت (*Maize Dwarf Mosaic Virus*) در ژنوتیپ‌های متحمل و حساس ذرت مورد بررسی قرار گرفت و نتایج بیانگر افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاه به منظور مقابله با ویروس بود. در این گزارش بیان شد آنزیم پراکسیداز در ژنوتیپ متحمل نسبت به ژنوتیپ حساس به میزان بالاتری تولید شد (Mostafavi Neishaburi *et al*., 2018). در مطالعه‌ای دیگر روی گیاه ماش گزارش شد پس از آلودگی گیاه به ویروس چروکیدگی برگ ماش (*Urdbean leaf crinkle virus*)، میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان به طور معنی‌داری افزایش داشت و تجمع آنزیم‌ها در رقم مقاوم به ویروس بیشتر بود (Ashfaq *et al*., 2010). یافته‌های محققان در بررسی پنج ژنوتیپ گوجه‌فرنگی نشان داد ژنوتیپ‌های متحمل‌تر در شرایط تنش خشکی سیستم آنتی‌اکسیدانی قوی‌تری دارند (Sanchez-Rodriguez *et al*., 2010).

جدول ۵- اثر متقابل کاربرد برگی محلول آهن × رقم بر محتوی آنتی‌اکسیدان برگ گوجه‌فرنگی آلوده به ویروس TSWV

Table 5- The interaction effect of Fe foliar application ×cultivaron the antioxidant content of TSWV -infected tomato leaf

رقم Cultivar	تیمارها Treatment	آنتی‌اکسیدان Antioxidant (%)
ریوگراند RioGrand	شاهد Control	71.85a
	آلوده به ویروسی virus contamination	71.71a
	آهن ۱/۵ Fe 1.5ml	63.88b
	آهن ۳ Fe 3ml	59.09b
موبیل Mobil	شاهد Control	71.23a
	آلوده به ویروس virus infected	74.97a
	آهن ۱/۵ Fe 1.5ml	60.12b
	آهن ۳ Fe 3ml	70.91a

اعداد دارای حروف مشترک در هر ستون، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Numbers with common letter in each column do not differ significantly at the 5% probability level.

کلروفیل (a، b و کلروفیل کل)

کلروفیل a: نتایج حاصل از آزمایش نشان داد شاخص کلروفیل a تحت تاثیر تیمار در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد بین ارقام و اثر متقابل تیمارها و ارقام نیز تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

کلروفیل b: نتایج حاصل از تحقیق نشان داد کود آهن اثری مبنی بر افزایش کلروفیل b نداشت به طوری که بین تیمارهای آزمایشی تفاوت محسوسی مشاهده نشد. همچنین بررسی اثر ساده رقم بیانگر آن است که در محتوی کلروفیل b هیچ یک از رقم‌ها نسبت به دیگری برتری بروز نداد. نتایج آنالیز واریانس بیانگر آن است که میزان کلروفیل b در اثر متقابل رقم در تیمار نیز معنی‌دار نبوده است.

کلروفیل کل: نتایج تجزیه واریانس نشان داد میزان کلروفیل کل تحت تاثیر تیمارها در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشد. همچنین بر اساس نتایج شاخص کلروفیل کل تحت تاثیر رقم و اثرات متقابل رقم و تیمار قرار نگرفت.

باتوجه به نتایج نهایی به نظر می‌رسد بالابودن میزان کلروفیل در گیاهان آلوده به ویروس، واکنش گیاه مربوط به القای مقاومت بوده است. چراکه شاخص کلروفیل در این تیمار با گیاهان شاهد تفاوت زیادی نشان نداد (جدول ۶). این موضوع در تحقیقات انجام شده روی سیب‌زمینی نیز گزارش شده است. محققان بیان کردند اثر تیمار ویروس potato virus Y (pvy) بر شاخص کلروفیل در سطح یک درصد معنی‌دار بود و بالاترین محتوی کلروفیل در سیب‌زمینی آلوده به ویروس مشاهده شد (Hadi *et al*., 2014). آنان دلیل این افزایش را مقابله گیاه با تنش ویروسی بیان کردند که در راستای نتایج این آزمایش می‌باشد. بر اساس گزارش‌ها مشخص شد گیاهان در مواجهه با انواع تنش‌های زیستی و غیرزیستی به منظور مقاومت بالا اقدام به ایجاد تغییرات سازگار می‌کنند (Atkinson and Urwin, 2012). به طور کلی در مبحث افزایش یا کاهش محتوی کلروفیل تحت شرایط تنش نتایج متناقضی برحسب گونه گیاهی وجود دارد. به نحوی که در برخی گزارش‌ها کاهش کلروفیل تحت شرایط تنش مشاهده شد. همچنین نتایج آزمایش نشان داد تیمار کود آهن در شرایط تنش ویروس بر میزان کلروفیل اثرگذاری مثبتی نداشت. در همین راستا پژوهشگران گزارش کرند مصرف نانو کلات آهن منجر به کاهش شاخص کلروفیل a، b و کل در برخی از ژنوتیپ‌های گیاه بابونه طی تنش خشکی شد. آنان اثر متفاوت آهن را وابسته به نوع ژنوتیپ بیان کردند (Azadqujeh Biglo *et al*., 2017).

جدول ۶- اثر کاربرد برگی محلول آهن بر محتوی کلروفیل a و کلرفیل‌کل در گوجه‌فرنگی های آلوده به ویروس TSWV

Table 6- The effect of Fe foliar application on the content of Chlorophyll a and Chlorophyll Total of TSWV-infected tomato leaf

تیمارها Treatments	کلروفیل a Chlorophyll a (µg.ml^{-1})	کلرفیل‌کل Chlorophyll Total (µg.ml^{-1})
شاهد Control	6.86^{ab}	15.45^{ab}
آلوده به ویروس virus infected	7.66^{a}	16.32^{a}
آهن ۱/۵ Fe 1.5ml	5.90^{b}	13.82^{b}
آهن ۳ Fe 3ml	6.23^{b}	14.48^{ab}

اعداد دارای حروف مشترک در هر ستون، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Numbers with common letter in each column do not differ significantly at the 5% probability level

بررسی علائم ویروس TSWV روی گوجه‌فرنگی

نتایج این مطالعه نشان داد بعد از مایه‌زنی ویروس به تدریج نشانه‌های لکه موضعی، پیچیدگی برگ و کاهش رشد در هر دو رقم گیاه مشاهده شد (شکل ۱) اما شدت علائم در رقم 'ریوگراند' بیشتر بود. با توجه به این که نوع میزبان اثر انتخابی مثبت در ژنوم TSWV دارد (Kaye *et al*., 2011)، می‌توان گزارش نمود که آلودگی TSWV در گوجه‌فرنگی دور از انتظار نمی‌باشد. در این راستا محققان گزارش کردند آلودگی گوجه‌فرنگی به ویروس پژمردگی لکه‌ای گوجه‌فرنگی به دلیل حساسیت زیاد میزبان و توان بیماری‌زایی بالا TSWV نسبت به گیاه زعفران بیشتر می‌باشد (Pappu *et al*., 2009).



شکل ۱- علائم ویروس TSWV روی گیاه گوجه‌فرنگی. ۱) گیاه شاهد رقم 'موبیل'. ۲) نشانه‌های ویروسی در رقم 'موبیل'. ۳) گیاه شاهد رقم 'ریوگراند'. ۴ و ۵) نشانه‌های ویروسی در رقم 'ریوگراند'

Figure 1– Symptoms of TSWV on tomato plant. 1) Control plant of 'Mobil' cultivar. 2) virus Symptomes in 'Mobil' cultivar. 3) Healthy plant of 'RioGrand' cultivar. 4 and 5) virus Symptomes in 'RioGrand' cultivar

نتیجه‌گیری

به طور کلی نتایج تحقیق نشان داد غلظت ۱/۵ میلی‌لیتر کود آهن بر بهبود برخی از جنبه‌های فیزیولوژیکی گوجه‌فرنگی آلوده به ویروس اثر گذاشت و منجر به افزایش محتوای قندکل در گیاهان آلوده شد که ممکن است برای ارتقا تحمل در انواع گوجه‌فرنگی مفید باشد. چراکه کربوهیدرات‌ها در تولید بسیاری از آنتی‌اکسیدان‌ها ضروری می‌باشند. همچنین همانطور که در نتایج مشخص شد طی اعمال تنش میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در بالاترین سطح قرار گرفت. از طرفی ترکیبات فنلی که وظیفه حفاظت از گیاه را برعهده دارند در رقم 'موبیل' به طور معنی‌داری افزایش داشت. به این ترتیب می‌توان بیان نمود کود آهن با غلظت ۱/۵ میلی‌لیتر در هزار با اثر افزایشی که در میزان قندکل داشت توانست همراه با اجزای آنزیمی و غیر آنزیمی آنتی‌اکسیدان تاحدودی از گسترش زیاد ویروس جلوگیری نماید و منجر به بروز علائم کمتر به ویژه در رقم 'موبیل' شود. این در حالی است که میزان تولید اجزا آنتی‌اکسیدانی در رقم 'ریوگراند' کمتر بوده و گیاه نتوانسته از شدت اثر ویروس جلوگیری نماید. به علاوه احتمال دارد سرعت گسترش عامل بیماری‌زا نسبت به واکنش دفاعی رقم 'ریوگراند' بیشتر بوده و به همین جهت گیاه نتوانسته در زمان مناسب اقدام به مقاومت نماید. به طور کلی در رقم‌های یک گونه گیاهی اثر هر آلودگی از قبیل ویروسی، قارچی یا باکتریایی متفاوت می‌باشد. علت آن این است که تفاوت‌های ژنتیکی ارقام منجر به بروز ساز و کارهای مقاومتی متفاوت در هر رقم می‌شود. به نحوی که درصد کاهش رشد و شانس بقا گیاه، رقم مقاوم را معرفی می‌کند. در این زمینه محققان گزارش کردند گیاهی که در تهاجم عامل بیماری‌زا آسیب کمتری ببیند رقم مقاوم محسوب می‌شود (Hadi *et al*., 2014).

نتایج نهایی نشان داد در مراحل اولیه رشد گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای، تغذیه آهن بر خصوصیات بیوشیمیایی گیاه اثرگذار بود و در برخی صفات تاثیر مثبت داشت. در مجموع کود آهن با غلظت ۱/۵ میلی‌لیتر باعث بهبود قندکل در گیاهان آلوده به ویروس پژمردگی لکه‌ای گوجه‌فرنگی شد و همراه با مواد موثره از گسترش زیاد ویروس جلوگیری کرد.

منابع

1. Abdullahi, A.R., Nasrollah Nejad, S., Jafari, S.M., Yazdanian, M., & Taghi Nasab, M. (2015). Evaluation of changes in protein and phenolic compounds in the leaves of susceptible and resistant tobacco cultivars infected with potato virus (PVY). *Journal of Plant Production Research 22*(3): 129-153. (In Persian). https://jopp.gau.ac.ir/article_2672_1f875d951b1c5f1b4b14a22359842f57.pdf
2. Afroz, A., Chaudhry, Z., Rashid, U., Khan, M.R., & Ali, G.M. (2010). Enhanced regeneration in explants of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) with the treatment of coconut water. *African Journal of Biotechnology 9*(24): 3634-3644.
3. Ashfaq, M., Khan, M.A., Javed, N., Mughal, S.M., Shahid, M., & Sahi, S.T. (2010). Effect of urdbean leaf crinkle virus infection on total soluble protein and antioxidant enzymes in blackgram plants. *Pakistan Journal of Botany 42*(1): 447-454.
4. Askari, M., Amini, F., & Jamali, F. (2014). Effects of Zinc on growth, amount of photosynthetic pigments, proline, protein and carbohydrates of tomato under salinity stress. *Journal of Plant Process and Function 3*(9): 45-58. (In Persian). http://jispp.iut.ac.ir/article-1-115-fa.html

5. Atkinson, N.J., & Urwin, P. E. (2012). The interaction of plant biotic and abiotic stresses: from genes to the field. *Journal of Experimental Botany 63*(10): 3523-3543. https://doi.org/10.1093/jxb/ers100
6. Azad, H., Fakheri, B.A., Mehdi Nejhad, N., & Parmoon, Q. (2018). The effect of drought stress and foliar application of iron nanochlat on the activity of antioxidant enzymes and flower yield of chamomile ecotypes (*Matricaria chamomilla* L.). *Journal of Plant Process and Function 7*(26): 223-238. (In Persian). http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1397.7.26.3.2
7. Azadqujeh Biglo, H., Fakheri, B.A., Mehdi Nejhad, N., & Parmoon, Q. (2017). Response of different irrigation on nano iron chelated to chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) genotypes. *Journal of Crop Ecophysiology 11*(3): 565-584. (In Persian with English abstract). https://jcep.tabriz.iau.ir/article_536646.html.
8. Bandeoğlu, E., Eyidoğan, F., Yücel, M., & Öktem, H.A. (2004). Antioxidant responses of shoots and roots of lentil to NaCl-salinity stress. *Plant Growth Regulation 42*(1): 69-77. https://doi.org/10.1023/B:GROW.0000014891.35427.7b
9. Barzegar, T., Isfahani, Z., Qahramani, Z., & Nikbakht, J. (2019). Investigation of some Physiological and biochemical responses of Tomato cultivar (*Lycopersicon esculentum* cv. Rio Grande) to foliar application of bio-stimulant under low water stress. *Journal of Plant Process and Function 8*(29): 229-239. (In Persian). http://jispp.iut.ac.ir/article-1-852-fa.html.
10. Bystricka, J., Vollmannova, A., & Margitanova, E. (2010). Dynamics of polyphenolics formation in different plant parts and different growth phases of selected buckwheat cultivars. *Acta Agriculturae Slovenica 95*(3): 225. https://doi.org/10.2478/v10014-010-0014-0.
11. Chen, S., Gu, H., Wang, X., Chen, J., & Zhu, W. (2011). Multiplex RT-PCR detection of Cucumber mosaic virus subgroups and Tobamoviruses infecting Tomato using 18S rRNA as an internal control. *Acta Biochim Biophys Sin 43*(6): 465-471. https://doi.org/10.1093/abbs/gmr031.
12. Clarke, S.F., Guy, P.L., Burritt, D.J., & Jameson, P.E. (2002). Changes in the activities of antioxidant enzymes in response to virus infection and hormone treatment. *Physiologia Plantarum 114*(2): 157-164. https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2002.1140201.x.
13. Cook, N.C., & Samman, S. (1996). Flavonoids—chemistry, metabolism, cardioprotective effects, and dietary sources. *The Journal of Nutritional Biochemistry 7*(2): 66-76. https://doi.org/10.1016/S0955-2863(95)00168-9.
14. Flores, F.B., Sanchez-Bel, P., Estañ, M.T., Martinez-Rodriguez, M.M., Moyano, E., Morales, B., & Bolarín, M.C. (2010). The effectiveness of grafting to improve tomato fruit quality. *Scientia horticulturae 125*(3): 211-217. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.03.026
15. Ghotbi, T., Shahraeen, N., & Winter, S. (2005). Occurrence of *tospoviruses* in ornamental and weed species in Markazi and Tehran provinces in Iran. *Plant Disease 89*(4): 425-429. https://doi.org/10.1094/PD-89-0425.
16. Golnaraghi, A. R., Pourrahim, R., Farzadfar, S., & Ahoonmanesh, A. (2007). Identification and partial characterization of a *Tospovirus* causing leaf and stem necrosis on potato. *Plant Pathology Journal (Faisalabad) 6*(3): 227-234. https://doi.org/10.3923/ppj.2007.227.234.
17. Gonçalves, L.S.A., Rodrigues, R., Diz, M.S.S., Robaina, R.R., Júnior, A., Carvalho, A., & Gomes, V. (2013). Peroxidase is involved in Pepper yellow mosaic virus resistance in Capsicum baccatum var. pendulum. *Genetics and Molecular Research* 12: 1411-1420. https://doi.org/10.4238/2013.April.26.3.
18. Hadi, M.R., Balali Dehkordi, G.R., Moosavi, S.M.R., & Hosseini, F. (2014). The Effects of salicylic acid in reducing potato virus Y damage in two potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars, Agria and Marfona. *Iranian Journal of Plant Biology 6*(20): 171-183. (In Persian with English abstract). https://dorl.net/dor/20.1001.1.20088264.1393.6.20.12.5
19. Hall, R. (2009). Mechanical inoculation of plant viruses. *Current protocols in Microbiology 3*(2): 13-19. https://doi.org/10.1002/9780471729259.mc16b06s13.
20. Haghighi, M., and Abolghasemi, R. (2019). The Effect of High and Low Temperature Stress on Growth, Photosynthesis and Antioxidant Activity in Vegetative Growth Stage of Tomato. *Journal of Vegetable Sciences 3*(5): 53-65. (In Persian)
21. Herbers, K., Takahata, Y., Melzer, M., Mock, H.P., Hajirezaei, M., & Sonnewald, U. (2000). Regulation of carbohydrate partitioning during the interaction of potato virus Y with tobacco. *Molecular Plant Pathology 1*(1): 51-59. https://doi.org/10.1046/j.1364-3703.2000.00007.x.
22. Jaakola, L., Määttä, K., Pirttilä, A.M., Törrönen, R., Kärenlampi, S., & Hohtola, A. (2002). Expression of genes involved in anthocyanin biosynthesis in relation to anthocyanin, proanthocyanidin, and flavonol levels during bilberry fruit development. *Plant Physiology 130*(2): 729-739. https://doi.org/10.1104/pp.006957.
23. Kaye, A.C., Moyer, J.W., Parks, E.J., Carbone, I., & Cubeta, M.A. (2011). Population genetic analysis of Tomato spotted wilt virus on peanut in North Carolina and Virginia. *Phytopathology 101*(1): 147-153. https://doi.org/10.1094/PHYTO-01-10-0035.
24. Krizek, D.T., Britz, S.J., & Mirecki, R.M. (1998). Inhibitory effects of ambient levels of solar UV-A and UV-B radiation on growth of cv. New Red Fire lettuce. *Physiologia Plantarum 103*(1): 1-7 https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.1998.1030101.x.

25. Krizek, D.T., Mirecki, R.M., & Britz, S.J. (1997). Inhibitory effects of ambient levels of solar UV-A and UV-B radiation on growth of cucumber. *Physiologia Plantarum 100*(4): 886-893.
26. Labuckas, D.O., Maestri, D.M., Perello, M., Martínez, M.L., & Lamarque, A.L. (2008). Phenolics from walnut (*Juglans regia* L.) kernels: Antioxidant activity and interactions with proteins. *Food Chemistry 107*(2): 607-612. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.08.051.
27. Lian, S., Lee, J.S., Cho, W.K., Yu, J., Kim, M.K., Choi, H.S., & Kim, K.H. (2013). Phylogenetic and recombination analysis of tomato spotted wilt virus. *PloS One 8*(5): 63380. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0063380.
28. Lichtenthaler, H.K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology* 148: 350-382. https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1.
29. Mocready, R. M., Guggolz, J., Silviera, V., & Owens, H.S. (1950). Determination of starch and amylose in vegetables. Application to peas. *Analytical Chemistry* 22: 1156-1158. http://dx.doi.org/10.1021/ac60045a016.
30. Mokhtary, I., Ganjali, A., & Abrishamchi, P. (2010). Ameliorative Effects of CaCl2 and CaSO4 on growth, content of soloube proteins, soloube sugars, proline and some mineral nutrients (Na+, K+) in leaves of *Lycopersicon esculentom* var Mobile under salt stress. *Iran Journal of Plant Biology 23*(1): 62-72. (In Persian with English abstract)
31. Mostafavi Neishaburi, F.S., Sabbagh, S.K., Yamchi, A., Nasrollanejad, S., & Panjekeh, N. (2018). Molecular study on some of physiological changes in susceptible and tolerant genotypes of maize in response to *Maize Dwarf Mosaic Virus* infection. *Journal of Applied Research in Plant Protection 7*(3): 1-17. (In Persian with English abstract). https://sid.ir/fa/journal/AdvanceWriter.aspx?str.
32. Pappu, H.R., Jones, R.A.C., & Jain, R.K. (2009). Global status of *tospovirus* epidemics in diverse cropping systems: successes achieved and challenges ahead. *Virus Research 141*(2): 219-236. https://doi.org/10.1016/j.virusres.2009.01.009.
33. Qorbani, A., Izadpanah, K.O., Hamzeh Zarqani, H.O., & Alamzadeh, E. (2017). Evaluation of physiological changes in resistant and susceptible sugar beet cultivars to Beet Necrotic Yellow Vein Virus. *Journal of Sugar Beet 33*(2): 209-219. (In Persian). https://doi.org/10.22092/jsb.2017.110056.1153
34. Rostami, Q., Moghadam, M., Ghasemi Pir Balouti, A.O., & Tehranifar, A. (2018). Effect of Foliar application of iron and zinc to sulfated and nanoparticle forms on morphological and biochemical properties of peppermint (*Mentha piperita* L.) under salinity stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences 11*(3): 707-720. (In Persian). https://doi.org/10.22077/escs.2018.870.1170.
35. Sanchez-Rodriguez, E., Rubio-Wilhelmi, M., Cervilla, L.M., Blasco, B., Rios, J.J., Rosales, M.A., & Ruiz, J.M. (2010). Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. *Plant Science 178*(1): 30-40.
36. Shahi Qaralar, A., Fatahi Moghadam, M.R., Zamani, Z.O., & Maali-Amiri, R. (2020). Study of Physiological and biochemical responses of some hazelnut cultivars under drought stress and re-watering conditions. *Iranian Journal of Horticultural Science 51*(1): 229-244. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ijhs.2018.219771.1119.
37. Shokhmgar, M., Baradaran, R., Mosavi, G.h.R., Poyan, M., & Arazmjoo, E. (2013). Effects of Irrigation interval and nitrogen on seed yield and physiological characteristics of Fenugreek (*Trigonella foenum-gracum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 29*(3): 527-538. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2013.4037.
38. Shoshtari, S., Jafarpour, B., & Falahati-Rastegar, M. (2011). Molecular and serological detection of Tomato spotted wilt virus from Khorasan-Razavi. *Plant Protection* 26: 348-356. (In Persian with English abstract)
39. Singh, D.P., & Riwari, R.S. (1996). Effect of micronutrients on yield and quality of onion (*Allium cepa* L.) variety Pusa Red. *Horticulture* 3(1): 111-117.
40. Smeekens, S. (2000). Sugar-induced signal transduction in plants. *Annual Review of Plant Biology 51*(1): 49-81. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.51.1.49.
41. Sundararaju, P., & Suba, K.P. (2006). Biochemical and molecular changes in banana plants induced by Pratylenchus coffeae and Meloidogyne incognita. *Indian Journal of Nematology 36*(2): 239-242.
42. Tariqi, S., Ebadi, A., & Dehghan Nairi, M. (2019). *The Role of Fe in plant pathogens*. Mashhad: Ferdowsi University of Mashhad Press.
43. Turkmen, N., Sari, F., & Velioglu, Y.S. (2005). The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. *Food Chemistry 93*(4): 713-718. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.12.038.
44. Van Assche, F., & Clijsters, H. (1990). Effects of metals on enzyme activity in plants. *Plant, Cell & Environment 13*(3): 195-206. http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3040.1990.tb01304.x.
45. Wei, D., Zhang, W., Wang, C., Meng, Q., Li, G., Chen, T.H., & Yang, X. (2017). Genetic engineering of the biosynthesis of glycinebetaine leads to alleviate salt-induced potassium efflux and enhances salt tolerance in tomato plants. *Plant Science* 257: 74-83. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2017.01.012.

46. Zarinjoo, A., Saadati, M., Safaie, N., & Shams-bakhsh, M. (2020). Interaction of *Turnip mosaic virus* or *Cauliflower mosaic virus* with *Phoma lingam* in Canola. *Plant Diseases 56*(3): 303-318. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22034/ijpp.2020.241965.